

مقاله پژوهشی

تأثیر غلظت‌های مختلف دوپامین بر برخی خواص کیفی و بیوشیمیایی میوه گیلاس رقم تک‌دانه طی نگهداری در انبار سرد

نرمین کریمیان^{۱*}، فرهنگ رضوی^۲ و مرتضی سلیمانی‌اقدم^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۲)

چکیده

گیلاس (*Prunus avium* L.) به دلیل پوست نازک و سرعت تنفس بالا از میوه‌های فسادپذیر در دوره پس از برداشت به‌شمار می‌آید. بهره‌گیری از ترکیبات زیست‌فعال طبیعی می‌تواند با کاهش ضایعات، افزایش عمر انبارمانی و حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت محصولات باغی را بهبود بخشد. در این پژوهش، اثر تیمار برون‌زای دوپامین بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی میوه گیلاس رقم «تک‌دانه» طی انبارمانی سرد بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف دوپامین (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و فاکتور دوم مدت زمان انبارمانی (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) بود. میوه‌های گیلاس پس از تیمار در سردخانه با شرایط دمای 1 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. نتایج نشان داد، دوپامین با کاهش سرعت تغییرات بیوشیمیایی (مانند افزایش pH، مواد جامد محلول کل و کربوهیدرات محلول کل) و با حفظ ترکیبات فنلی و رنگ پوست، روند پیری میوه را کند کرد. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در تیمارهای دوپامین منجر به بهبود کیفیت و ماندگاری میوه شد. این یافته‌ها بیانگر کارایی دوپامین به‌عنوان یک عامل طبیعی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت گیلاس است.

کلمات کلیدی: اختلاف رنگ، پلی‌فنل‌اکسیداز، ترکیبات زیست‌فعال، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

* پست الکترونیک: n.karimian@znu.ac.ir

مقدمه

گیلاس با نام علمی *Prunus avium* L. به خانواده «Rosaceae» تعلق دارند که به دلیل داشتن ترکیبات فنلی به ویژه آنتوسیانین‌ها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی قابل توجهی است (گونسالوس^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ویگناتی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به فسادپذیری گیلاس در دوره پس از برداشت، بهره‌گیری از ترکیبات طبیعی رویکردی ضروری برای افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت آن به شمار می‌رود (بی‌ستی و حسن‌پور، ۱۳۹۵). اختلالات پس از برداشتی میوه گیلاس عمدتاً شامل پیری^۳، پیتینگ^۴، کوفتگی^۵، قهوه‌ای شدن دمیوه^۶ است (دی‌فریتاس و پارک^۷، ۲۰۱۹). نگهداری میوه در دماهای نزدیک به نقطه انجماد (NFTS) می‌تواند به طور مؤثری از نرم شدن و تغییر رنگ میوه جلوگیری کرده و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، افت یکپارچگی غشایی، کاهش غلظت اسیدآسکوربیک، قندها و اسیدهای آلی را به تأخیر می‌اندازد (ژائو^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). دوپامین به عنوان یکی از ترکیبات طبیعی و مؤثر در حفظ کیفیت میوه طی دوره پس از برداشت مطرح است. این ترکیب در گیاهان به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل کرده و در تعدیل تنش‌های غیرزیستی نقش آفرینی می‌کند و همچنین از طریق تعامل با هورمون‌های گیاهی در تنظیم فرآیندهای رشد و نمو گیاه مؤثر است (ژانگ^۹ و ژانگ، ۲۰۲۲). علاوه بر این، دوپامین دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قوی قابل مقایسه با گلوکاتیون و فلاونوئیدهای شاخص نظیر کاتچین و کوئرستین است، هرچند فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن نسبت به اسید آسکوربیک و اپی‌گالوکاتچین‌گالات کمتر گزارش شده است (کولما و شوپا^{۱۰}، ۲۰۰۷).

وانگ^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند تیمار دوپامین (۱۰۰ میکرومولار) به صورت محلول‌پاشی برگی به طور قابل توجهی محتوی فروکتوز، ساکارز و آنتوسیانین میوه سیب^{۱۲} را

افزایش داد. علاوه بر این، بیان ژن‌های مرتبط با انتقال قند و بیوسنتز فلاونوئیدها نیز تحت تأثیر دوپامین افزایش یافت. در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر تیمارهای قبل از برداشت دوپامین با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار در کاهش تنش سرمایی دو رقم هندوانه پرداخته شد، مشاهده شد که کاربرد دوپامین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار موجب بهبود سلامت نشاها و کاهش اثرات منفی سرما بر فرایند فتوسنتز و محتوی کلروفیل گردید. همچنین، دوپامین با افزایش تجمع پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سطح پلی‌آمین‌ها، نقش حفاظتی بر غشاهای ایفا نموده و آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از سرما را کاهش داد (جیائو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر اثر دوپامین در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار بر گیاه خیار آلوده به سفیدک دروغی^{۱۴} مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تیمار دوپامین ۱۰۰ میکرومولار به عنوان غلظت بهینه به طور معنی‌داری باعث کاهش علائم بیماری شده و همچنین، محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی، سرعت خالص فتوسنتز برگ و هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فعالیت آنزیم رابیسکو را افزایش داد و بیان ژن‌های تنظیمی رابیسکو (CsrbcL و CsrbcS) را تقویت نمود، در حالی که بیان ژن‌های مرتبط با تخریب کلروفیل (CsPAO و CsRCCR) کاهش یافت (جی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۲).

تیمار برون‌زا با دوپامین (۰ و ۱۵۰ میکرومولار) بر میوه موز رقم کوندیش سبب افزایش فعالیت مهار رادیکال‌های ABTS^{۱۶}، FRAP^{۱۷} و DPPH^{۱۸} شد. این اثر با تحریک بیوسنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها از طریق القای فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیلایز و هم‌زمان کاهش بیان و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در طی ۲۱ روز نگهداری در دمای ۷ درجه

10. Kulma and Szopa

11. Wang

12. *Malus domestica* Borkh. cv. Naganofuji No.2

13. Jiao

14. Downy mildew

15. Ji

16. 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

17. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

18. Ferric Reducing Antioxidant Power

1. Gonçalves

2. Vignati

3. Shriveling

4. Surface Pitting

5. Bruising

6. Stem Browning

7. De Freitas and Pareek

8. Zhao

9. Zhang

شده در هنگام برداشت به‌عنوان زمان صفر (بدون تیمار و بدون انبار در سردخانه) در نظر گرفته شد.

اسیدیته (pH) عصاره میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

اسیدیته (pH) عصاره میوه گیلان با استفاده از pH متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. اسیدیته قابل تیتراسیون نیز از روش تیترکردن با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال به‌وسیله دستگاه بورت دیجیتالی مدل (Rudolf BRAND) ثبت شد (نصر^۳ و همکاران، ۲۰۱۸).

مواد جامد محلول کل (TSS) و کربوهیدرات محلول کل (TSC)

میزان مواد جامد محلول گیلان به‌وسیله دستگاه فام‌نگار دستی مدل (ARB0-45) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری و عدد آن بر حسب درجه بریکس (°Brix) ثبت شد (نصر و همکاران، ۲۰۱۸). کربوهیدرات‌های محلول کل به روش معرف آنترون اندازه‌گیری شد. مقدار ۰/۵ گرم از بافت میوه با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی همگن شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از عصاره رویی حاصله به ۳ میلی‌لیتر آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲ درصد) اضافه و به‌مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه به حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از حاصل شدن ماده رنگی جذب نوری با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن تازه (mg g⁻¹ FW) بیان گردید (ایریگوین^۴ و همکاران، ۱۹۹۲).

شاخص طعم (TSS/TA)

شاخص طعم از نسبت مواد جامد محلول کل به اسید قابل تیتراسیون به دست آمد.

محتوی اسید آسکوربیک (AA)

برای سنجش محتوی اسید آسکوربیک از ماده رنگی ۶و۲-دی‌کلروفنل‌ایندوفنل استفاده و میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر و بر اساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه (mg 100 g⁻¹ FW) بیان شد (بور^۵ و همکاران، ۲۰۰۶).

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL)

سانتی‌گراد حاصل گردید (نظری^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تیمار کیوی با غلظت‌های مختلف دوپامین، درصد سرمازدگی را پس از ۱۲۰ روز نگهداری در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. به‌طوری که غلظت ۱۵۰ میکرومولار باعث افزایش تجمع فنل‌ها، فلاونوئیدها و اسید آسکوربیک، همراه با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و مهار رادیکال‌های DPPH شد (اقدام^۲ و همکاران، ۲۰۲۵).

با توجه به ارزش غذایی بالای میوه گیلان و جایگاه ایران به عنوان یکی از پنج تولیدکننده بزرگ این محصول در جهان، حفظ کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت آن امری ضروری است. هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف دوپامین بر ترکیبات فنلی، همچنین تغییرات غلظت اسید آسکوربیک، کربوهیدرات در میوه گیلان رقم تک‌دانه طی نگهداری در انبار سرد است.

مواد و روش‌ها

در خردادماه سال ۱۴۰۲، میوه‌های گیلان رقم «تک‌دانه» در مرحله رسیدگی تجاری از درختان ۱۲ ساله واقع در باغی در شهرستان سقز (استان کردستان) برداشت شدند. میوه‌های یک‌نواخت از نظر اندازه و رنگ انتخاب و به‌مدت ۱۰ دقیقه در محلول دوپامین (شرکت سیگما) با غلظت‌های (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) حاوی دو قطره تویین ۲۰ به‌منظور بهبود جذب تیمار غوطه‌ور شد. همچنین از آب‌مقطر برای تیمار شاهد استفاده شد. پس از خشک‌شدن میوه‌ها در دمای اتاق در داخل ظروف پلی‌اتیلنی (هر نمونه حاوی ۲۰ میوه گیلان) قرار داده شد و در انبار سرد با دمای ۱±۰/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد انتقال یافت. نمونه‌برداری پس از ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز انبارمانی انجام شد و میوه‌ها پس از خروج از انبار به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس از نظر برخی ویژگی‌های کیفی و بیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر این، سه تکرار از میوه‌های جدا

4. Irigoyen
5. Bor

1. Nazari
2. Aghdam
3. Naser

بر حسب میلی گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه (mg Q/100g FW) بیان شد (کایجو^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). سنجش ظرفیت آنتی اکسیدانی از طریق درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH اندازه‌گیری و میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر به صورت درصد بازدارندگی (% DPPHsc) با استفاده از فرمول زیر بیان شد (دهقان و خوشکام^۶، ۲۰۱۲).
۱۰۰ × تغییر جذب شاهد / (تغییر جذب نمونه - تغییر جذب شاهد) = (%) بازدارندگی DPPH

محتوی آنتوسیانین کل (TAC)

روش اختلاف pH برای سنجش میزان آنتوسیانین کل انجام شد. ابتدا ۲ گرم بافت میوه گیلان در متانول ۸۰ درصد همگن شد. سپس ۱ میلی لیتر از عصاره رویی با ۵ میلی لیتر محلول KCl- HCl (۵۰ میلی لیتر از محلول ۰/۲ مولار پتاسیم کلرید^۷ + ۹۷ میلی لیتر از محلول ۰/۲ مولار کلریدریک اسید^۸ به حجم ۲۰۰ میلی لیتر رسانده شد) و با pH=۱ رقیق شد. همچنین ۱ میلی لیتر دیگر از عصاره رویی با ۵ میلی لیتر بافر استات ۰/۲ مولار (۳۰/۵ میلی لیتر استیک اسید^۹ ۰/۲ مولار + ۱۹/۵ میلی لیتر از استات سدیم^{۱۰} ۰/۲ مولار به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد) و با pH=۴/۵ رقیق شد. سپس جذب هر دو محلول در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر قرائت شد و در نهایت غلظت آنتوسیانین کل بر حسب میلی گرم سیانیدین^{۱۱}-۳ گلوکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تازه (mg C3G 100 g⁻¹ FW) بیان شد (جیوستی و ورولستاد^{۱۱}، ۲۰۰۱).

رنگ‌سنجی میوه

رنگ میوه‌های گیلان با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل (Lutron RGB-1002) اندازه‌گیری شد. سه شاخص هانتر (L*), نماد روشنایی رنگ (L=۰ برای سیاه و L=۱۰۰ برای سفید)، (a*)، نماد سبزی تا قرمزی رنگ (a= -۶۰ برای سبز و a= +۶۰ برای قرمز) و (b*)، نماد آبی تا زرد (b= -۶۰ برای آبی و b= +۶۰ برای زرد) و اختلاف رنگ کل^{۱۲} (ΔE) نسبت به نمونه‌های زمان صفر انبارمانی (شهابی قهفرخی^{۱۳} و همکاران،

در عصاره‌گیری، ۲ گرم از بافت میوه با ۱۰ میلی لیتر بافر بورات سدیم (pH=۸/۸) همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در دور ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شد. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره را با ۲ میلی لیتر بافر بورات سدیم و نیز ۵۰۰ میکرولیتر محلول فنیل آلانین ۲۰ میلی مولار مخلوط و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. فعالیت آنزیم با اندازه‌گیری میزان جذب محلول در طول موج ۲۹۰ نانومتر تعیین و بر حسب واحد بر میلی گرم پروتئین (U mg⁻¹ protein) گزارش شد (زوکرو^۱، ۱۹۶۸).

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO)

برای استخراج عصاره، ابتدا ۱ گرم از بافت میوه با ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم در غلظت ۱۰۰ میلی مولار با pH=۷/۸ و حاوی دو درصد PVP^۲، همگن شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۴۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس مخلوط واکنش (محلول رویی عصاره + پیروکاتکول ۱۰۰ میلی مولار + بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار، pH=۷/۸) است در طول موج ۴۲۰ نانومتر در یک دقیقه، قرائت و بر حسب واحد بر میلی گرم پروتئین (U mg⁻¹ protein) بیان گردید (نگوین^۳ و همکاران، ۲۰۰۳).

محتوی فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی

به منظور سنجش فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدان، ۱ گرم بافت تازه میوه گیلان توزین و با ۸ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد همگن شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. این عصاره برای اندازه‌گیری میزان فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدان مورد استفاده قرار گرفت. از معرف فولین سیکالتو برای اندازه‌گیری محتوی فنل کل استفاده شد. میزان جذب در طول موج ۷۲۰ نانومتر بر حسب میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه (mg GAE/100g FW) بیان شد (سینگلتون و روسی^۴، ۱۹۶۵). محتوی فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم تعیین شد و میزان جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر

8. Hydrochloric Acid
9. Acetic acid
10. Sodium Acetate
11. Giusti and Wrolstad
12. Total Color Difference
13. Shahabi-Ghahafarrokh

1. Zucker
2. Polyvinylpyrrolidone
3. Nguyen
4. Singleton and Rossi
5. Kaijv
6. Dehghan and Khoshkam
7. Potassium Chloride

۲۰۱۵)، خلوص رنگ (C^*) و زاویه هیو (h°) (مجتبایی^۱ و همکاران، ۲۰۲۳) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{1/2}$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح آماری کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶، تجزیه و تحلیل شدند. همچنین، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2019 و نیز برای بررسی تغییرات رنگ نرم‌افزار Adobe Photoshop 2023 استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. علاوه بر این، برای محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات از آزمون اسپیرمن^۲ استفاده گردید.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار پس از برداشت دوپامین بر صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه گیلان رقم تک‌دانه در طی

دوره انبارمانی سرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	TA	TSS	TSS/TA	AA	PAL	PPO	DPPH
تیمار دوپامین	۳	۰/۴۵**	۰/۳۱**	۹/۷۵**	۵۵/۰۸**	۱۷۷/۸۲**	۲۹۷۹۵/۲۶**	۱۷۷/۶۸**	۰/۰۷**
زمان انبارمانی	۳	۰/۶۳**	۰/۲۷**	۱۲/۹۰**	۴۸/۲۰**	۱۲۳/۸۹**	۱۲۷۸۷/۱۷**	۱۴۸/۶۰**	۰/۰۶**
تیمار × زمان	۹	۰/۱۱**	۰/۰۲۱**	۰/۶۷**	۰/۶۲*	۱/۹۷**	۳۵۶/۳۴**	۷/۳۹**	۰/۰۰۲**
خطا	۳۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۳۱/۶۴	۰/۸۳	۰/۴۴
ظریب تغییرات	۱/۳۳	۴/۳۴	۱/۷۲	۴/۱۴	۳/۰۹	۲/۹۹	۳/۹۹	۷/۹۳	۰/۸۵

اسیدیته (pH)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، مواد جامد محلول کل (TSS)، کربوهیدرات محلول کل (TSS/TA)، اسید آسکوربیک (AA)، آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز (PAL)، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار پس از برداشت دوپامین بر صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه گیلان رقم تک‌دانه در طی

دوره انبارمانی سرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	TP	TF	TAC	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE
تیمار دوپامین	۳	۵۰۵/۸۳**	۱۰۷۰/۱۵**	۶۹۹/۹۷**	۱۴۹/۸۵**	۳۹/۲۲**	۸/۶۹**	۳۵/۸۱**	۱۳۰۲/۹۷**	۶۱/۵۰**
زمان انبارمانی	۳	۴۳۶/۶۵**	۱۳۱۵/۷۶**	۷۱۲/۸۶**	۴۶/۲۴**	۱۰/۱**	۱۴/۴۱**	۱۷/۰۳**	۵۳۷/۶۹**	۱۹/۷۹**
تیمار × زمان	۹	۵۲/۱۲**	۱۴/۲۱**	۳۷/۷۵**	۲۲/۳۵**	۲۳/۴۶**	۸/۴۸**	۱۷/۵۱**	۱۰۵۸/۴۷**	۱۸/۶۵**
خطا	۳۴	۱/۵۰	۱/۷۱	۱/۲۴	۲/۶۷	۰/۷۸	۰/۶۹	۱/۲۵	۲۱/۳۷	۲/۲۷
ظریب تغییرات	۶/۷۰	۵/۶۰	۴/۰۸	۷/۵۳	۱۷/۷۸	۱۶/۵۰	۱۵/۱۵	۹/۷۳	۱۱/۸۳	۱۱/۸۳

فنل کل (TP)، فلاونوئید کل (TF)، آنتوسیانین کل (TAC)، شاخص روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*)، شاخص زردی (b^*)، خلوص رنگ (C^*)، زاویه هیو (h°)، اختلاف رنگ کل (ΔE)، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار دوپامین و زمان انبارمانی بر صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه گیلان رقم تک‌دانه در

طی دوره انبارمانی سرد						
زمان انبارمانی	دوپامین μM	pH	TA (%)	TSS (°Brix)	TSC (mg g ⁻¹ FW)	TSS/TA (mg 100 g ⁻¹ FW)
۰ روز		۴/۶۸ ⁱ	۱/۵۸ ^a	۱۲/۰۷ ^j	۵/۴۴ ^m	۸/۰۸ ⁿ
	۰	۴/۸ ^{ghi}	۰/۸۱ ^j	۱۵/۹۳ ^{cd}	۱۳/۶۱ ^{cde}	۱۹/۷۳ ⁿ
	۵۰	۴/۷۹ ^{hi}	۱/۱۶ ^d	۱۳/۴ ⁱ	۹/۷۱ ^{jk}	۱۱/۵۶ ⁿ
۷ روز	۱۰۰	۴/۷۸ ^{hi}	۱/۲۴ ^c	۱۳/۴۳ ⁱ	۹/۰۱ ^{kl}	۱۰/۸ ⁿ
	۲۰۰	۴/۸ ^{ghi}	۱/۴۷ ^b	۱۲/۸۷ ^j	۸/۶۳ ^o	۸/۷۴ ⁿ
	۰	۵/۰۳ ^{de}	۰/۷۷ ^{jk}	۱۶/۳ ^c	۱۴/۱۵ ^{cd}	۲۰/۹۳ ⁿ
۱۴ روز	۵۰	۴/۸۹ ^{fgh}	۱/۰۱ ^{fg}	۱۴/۹ ^g	۱۰/۹۳ ^{hi}	۱۴/۷۱ ⁿ
	۱۰۰	۴/۸۷ ^{fgh}	۱/۰۷ ^{ef}	۱۴/۲۳ ^h	۱۰/۵۸ ^{hi}	۱۳/۳۱ ⁿ
	۲۰۰	۴/۸۸ ^{fgh}	۱/۱۳ ^{de}	۱۴ ^h	۱۰/۲۵ ^{ij}	۱۲/۴۲ ⁿ
۲۱ روز	۰	۵/۵۴ ^b	۰/۷۳ ^{kl}	۱۶/۲۳ ^c	۱۸/۷۹ ^a	۲۲/۲۹ ⁿ
	۵۰	۴/۹۸ ^{def}	۰/۹۴ ^{gh}	۱۵/۸۳ ^{cd}	۱۴/۴ ^c	۱۶/۸۸ ⁿ
	۱۰۰	۴/۹۳ ^{efg}	۰/۹۶ ^{gh}	۱۵/۵۳ ^{def}	۱۳/۳۲ ^{def}	۱۶/۱۴ ⁿ
۲۸ روز	۲۰۰	۴/۹۳ ^{ef}	۰/۹۸ ^{gh}	۱۵/۱۷ ^{fg}	۱۳/۱۳ ^{efg}	۱۵/۴۵ ⁿ
	۰	۵/۹۳ ^a	۰/۶۹ ^l	۱۷/۳ ^a	۱۵/۵۱ ^b	۲۵/۲۷ ⁿ
	۵۰	۵/۱۵ ^c	۰/۸۳ ^j	۱۶/۸ ^b	۱۲/۶۶ ^{fg}	۲۰/۳۳ ⁿ
	۱۰۰	۵/۰۷ ^{cd}	۰/۸۵ ^{ij}	۱۵/۶۷ ^{de}	۱۲/۲۷ ^g	۱۸/۴۸ ⁿ
	۲۰۰	۵/۱۳ ^c	۰/۹۲ ^{hi}	۱۵/۳۷ ^{ef}	۱۱/۱۵ ^h	۱۶/۷۹ ⁿ

اسیدیت (pH)، اسیدیت قابل تیتراسیون (TA)، مواد جامد محلول کل (TSS)، کربوهیدرات محلول کل (TSC)، شاخص طعم (TSS/TA)، اسید اسکوربیک (AA)
حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چند دامنه ای دانکن می‌باشد.

اسیدیت عصاره میوه و اسیدیت قابل تیتراسیون

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش مدت انبارمانی، pH آب‌میوه به‌طور جزئی افزایش یافت به گونه‌ای که تغییرات در هفته نخست نسبت به زمان صفر انبارمانی معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار pH آب‌میوه (۵/۹۲) در نمونه‌های شاهد پس از ۲۸ روز انبارمانی مشاهده شد، در حالی‌که در همین بازه، نمونه‌های تیمار شده با دوپامین ۱۰۰ میکرومولار دارای pH برابر با ۵/۰۷ بودند که این اختلاف نسبت به نمونه‌های شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. درصد اسیدیت قابل تیتراسیون در زمان صفر انبارمانی در بیشترین سطح خود (۱/۵۸ درصد) قرار داشت و با افزایش مدت انبارمانی، روندی کاهشی را نشان داد. در تمامی زمان‌های نگهداری، تیمار دوپامین درصد کاهش اسیدیت قابل تیتراسیون را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه‌های شاهد محدود کرد. کمترین مقدار اسیدیت قابل تیتراسیون (۰/۶۹ درصد) در نمونه‌های شاهد پس از ۲۸ روز انبارمانی مشاهده

شد، در حالی‌که در همین زمان، مقدار اسیدیت قابل تیتراسیون در نمونه‌های تیمار شده با دوپامین ۲۰۰ میکرومولار برابر با ۰/۹۲ درصد بود که این اختلاف نسبت به نمونه‌های شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). سرعت بالای تنفس گیلان پس از برداشت موجب تبدیل نشاسته و اسیدهای آلی به قندها در طول دوره نگهداری می‌شود که این فرآیند افزایش pH میوه را در پی دارد (کاستا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). در نتیجه با افزایش pH آب‌میوه، میزان اسیدهای آلی کاهش یافته و نهایتاً اسیدیت قابل تیتراسیون نیز کاهش می‌یابد (سان^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). به طور کلی، تیمار دوپامین با کند کردن سرعت تنفس و حفظ اسیدهای آلی از افزایش بیش از حد pH جلوگیری کرده و در نتیجه کاهش اسیدیت قابل تیتراسیون را در طول دوره انبارمانی به‌طور مؤثری به تأخیر انداخت.

مواد جامد محلول کل و کربوهیدرات محلول کل

بر اساس نتایج به‌دست آمده، کمترین مقدار مواد جامد محلول

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که شاخص طعم در پایان دوره انبارمانی (۲۸ روز) به بیشترین مقدار خود (۲۵/۲۷) رسید در حالی که تیمار دوپامین ۲۰۰ میکرومولار این شاخص را به‌طور معنی‌داری تا ۱۶/۷۹ کاهش داد. به‌طور کلی، همه تیمارهای دوپامین روند افزایش شاخص طعم را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری گند کردند. نسبت TSS/TA یکی از پارامترهای کلیدی در تعیین میزان پذیرش میوه گلاس توسط مصرف‌کنندگان است (ولی‌زاده‌کاجی و فخری^۲، ۲۰۲۳). از این رو، دوپامین با حفظ سطح مناسب مواد جامد محلول کل و جلوگیری از کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون، احتمالاً با مهار تبدیل نشاسته به قندهای ساده از افزایش سریع شاخص طعم در میوه‌های تیمار شده جلوگیری کرده است.

اسید آسکوربیک

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار اسید آسکوربیک در زمان صفر انبارمانی ۲۷۱/۵۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه بود که در طول دوره انبارمانی در تمام نمونه‌ها کاهش یافت. تیمار دوپامین به‌طور مؤثری از افت بیشتر اسید آسکوربیک جلوگیری کرد به‌طوری‌که در پایان انبارمانی (۲۸ روز) بیشترین میزان آن در تیمار ۲۰۰ میکرومولار (۱۷۸/۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه) و کمترین مقدار آن در نمونه‌های شاهد (۸۰/۹۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه) مشاهده شد (جدول ۳). بر اساس نتایج همبستگی (جدول ۴)، اسید آسکوربیک با فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیاژ، فنل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین کل همبستگی معنی‌داری نداشت، اما با فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. اسید آسکوربیک به‌دلیل سنتز در مسیر بیوسنتزی مستقل (مسیر اسید گالاکتورونیک) و ماهیت آنتی‌اکسیدانی آب‌دوست خود (هوخزرمایر^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ پاچولا^۴ و همکاران، ۲۰۱۹)، با ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها که حاصل مسیر فنیل پروپانویید هستند، همبستگی معنی‌داری نشان نداد. در نتیجه تغییرات آن در طی انبارمانی با تغییرات ترکیبات فنلی همسو نبود. مطابق با نتایج این پژوهش، حفظ تجمع اسید

کل در زمان صفر انبارمانی (۱۲/۷ درجه بریکس) ثبت شد و با افزایش مدت انبارمانی روندی افزایشی داشت به‌طوری‌که بیشترین مقدار TSS (۱۷/۳ درجه بریکس) پس از ۲۸ روز عمر انبارمانی مشاهده شد که این مقدار با تیمار دوپامین ۵۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری نداشت. در همین زمان، مقدار TSS در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به‌ترتیب ۱۶/۳۷ و ۱۶/۱۷ درجه بریکس بود که این دو تیمار نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). مقدار کربوهیدرات محلول کل در طول دوره انبارمانی تا زمان نمونه‌برداری سوم (۲۱ روز) افزایش یافت و سپس روند کاهشی نشان داد. کمترین مقدار کربوهیدرات محلول کل در زمان صفر انبارمانی (۵/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) و بیشترین مقدار آن در نمونه‌های شاهد پس از ۲۱ روز (۱۸/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) ثبت شد. به‌طور کلی، تیمار دوپامین در غلظت‌های مختلف از تجمع بیش از حد کربوهیدرات‌های محلول کل جلوگیری کرد و در تمامی زمان‌ها با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). شاخص TSS برای ارزیابی میزان پیری میوه است و افزایش تنفس طی فرآیند رسیدگی، موجب افزایش آن می‌شود. در این روند، کربوهیدرات‌ها به قندهای محلول تبدیل شده و در نتیجه مواد جامد محلول کل و کربوهیدرات محلول کل در طول دوره انبارمانی افزایش می‌یابد (سورادک^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، تیمار دوپامین با مهار تجمع کربوهیدرات‌ها و مواد جامد محلول از انباشت قندهای اضافی جلوگیری کرده و بدین ترتیب روند پیری و رسیدگی بیش از حد میوه را به‌طور مؤثری گند می‌کند. منطبق با نتایج پژوهش حاضر، تیمار قبل از برداشت دوپامین در غلظت ۱۰۰ میکرومولار در خیار آلوده به سفیدک دروغی موجب افزایش بیان ژن‌های CsSPS4 و CsSUS3 شد که به افزایش نشاسته، سلولز و کربوهیدرات محلول کل منجر گردید که از این طریق با حفظ تنظیم اسمزی سلول، مقاومت گیاه به بیماری را بهبود بخشید و در نهایت موجب ارتقای رشد خیار شد (جی و همکاران، ۲۰۲۲).

شاخص طعم

3. Huchzermeyer
4. Paciolla

1. Soradech
2. Valizadeh Kaji and Fakhri

همراه است (اقدام و همکاران، ۲۰۱۶). تیمار دوپامین در میوه موز رقم «Cavendish» با فعال‌سازی آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز و همزمان سرکوب بیان و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، بیوسنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها را افزایش داد (نظری و همکاران، ۲۰۲۴) که نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج این محققان مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده روند افزایشی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تمامی نمونه‌ها در طی نگهداری میوه گیلاس است. میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در زمان صفر انبارمانی (۰/۰۶ واحد در میلی گرم پروتئین) بود، اما تیمار دوپامین از افزایش سریع آن جلوگیری کرد. تیمار دوپامین در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به ترتیب سبب کاهش (۲۱، ۴۶ و ۵۱ درصدی) مقدار فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد در پایان دوره انبارمانی شدند (شکل ۲). بر اساس نتایج حاصل از جدول همبستگی، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز همبستگی معنی‌داری با آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز، محتوی فنل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین کل نشان داد (جدول ۴). فعالیت کاتالیزوری آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شامل اکسیداسیون ترکیبات فنلی به کینون‌ها با استفاده از اکسیژن مولکولی است که به‌طور مؤثری گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) را سم‌زدایی کرده و آب را به‌عنوان محصول جانبی تولید می‌کند (ژانگ، ۲۰۲۲). بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده، تیمار دوپامین با فعال‌سازی هم زمان آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز و مهار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز،

آسکوربیک، توسط تیمار دوپامین (۱۵۰ میکرومولار) در کیوی (اقدام و همکاران، ۲۰۲۵) و نیز در موز (نظری و همکاران، ۲۰۲۴) مشاهده شده است.

فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز

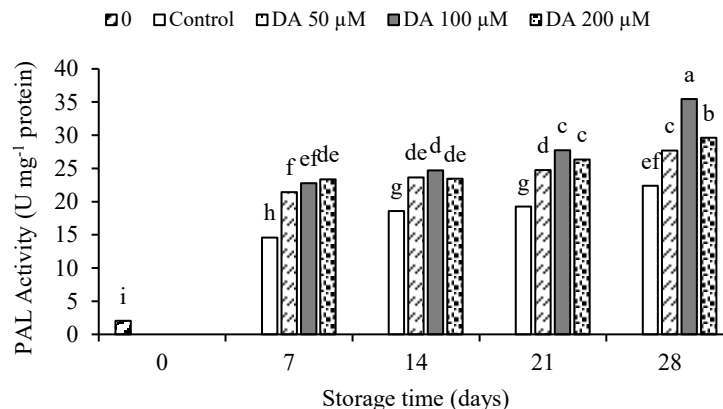
بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز با افزایش زمان انبارمانی افزایش یافت و تیمار دوپامین در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به ترتیب موجب افزایش ۲۴، ۵۶ و ۲۹ درصدی فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد در پایان دوره انبارمانی شد (شکل ۱). نتایج حاصل از همبستگی صفات نشان داد که فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان فنل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین کل داشت و با آنزیم پلی‌فنل اکسیداز همبستگی معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). این یافته نشان‌دهنده نقش کلیدی آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز در فعال‌سازی مسیر فنیل‌پروپانویید است. به‌طوری‌که نخستین گام این مسیر با تبدیل فنیل‌آلانین به ترانس‌سینامیک اسید توسط این آنزیم آغاز می‌شود و در ادامه منجر به سنتز ترکیبات ثانویه از جمله لیگنین، فنل‌ها، فلاونوئیدها و به‌ویژه آنتوسیانین‌ها و در نتیجه تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل می‌گردد (جیانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). ممکن است، افزایش آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز تحت تأثیر تیمار دوپامین به‌عنوان یک سیگنال دفاعی نیز رخ داده باشد. محتوی بیشتر ترکیبات فنلی ناشی از افزایش فعالیت مسیر فنیل‌پروپانویید است که با فعالیت بیشتر آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز و همزمان فعالیت کاهش یافته آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

جدول ۴- نتایج همبستگی بین برخی صفات بیوشیمیایی میوه گیلاس رقم تک‌دانه

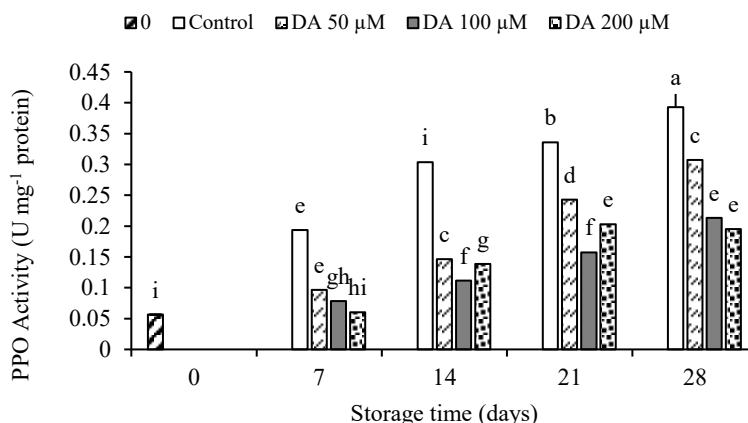
	AA	PAL	PPO	TP	TF	DPPH	TAC
AA	—						
PAL	-۰/۰۶ ns	—					
PPO	-۰/۹۰ **	۰/۱۶ ns	—				
TP	-۰/۰۲ ns	۰/۹۶ **	۰/۱۳ ns	—			
TF	-۰/۱۵ ns	۰/۹۶ **	۰/۳۵ ns	۰/۹۷ **	—		
DPPH	-۰/۰۲ ns	۰/۹۷ **	۰/۱۴ ns	۰/۹۹ **	۰/۹۶ **	—	
TAC	-۰/۰۸ ns	۰/۹۸ **	۰/۱۷ ns	۰/۹۸ **	۰/۹۸ **	۰/۹۸ **	—

اسید آسکوربیک (AA)، آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلایز (PAL)، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)، فنل کل (TP)، فلاونوئید کل (TF)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH) و آنتوسیانین کل (TAC)

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاز (PAL) گیلای رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) گیلای رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار فنل کل در زمان صفر انبارمانی (۶/۹۶ میلی‌گرم گالیک‌اسید در ۱۰۰ گرم وزن تازه) گزارش شد که این مقدار با افزایش مدت انبارمانی ارتقاع پیدا کرد. بیشترین میزان فنل کل (۴۱/۰۳ میلی‌گرم گالیک‌اسید در ۱۰۰ گرم وزن تازه) در تیمار دوپامین ۲۰۰ میکرومولار پس از ۲۸ روز مشاهده شد که این مقدار نسبت به سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری داشت، اما در زمان‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ روز تفاوت قابل توجهی بین تیمارهای دوپامین دیده نشد (شکل ۳). علاوه بر این، فنل کل به‌طور معنی‌داری با آنزیم فنیل آلانین آمونیاز، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و

مسیر بیوسنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها را تقویت کرده و به‌طور مؤثری تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد. در پژوهشی، اثر دوپامین بر مقاومت نشاهای هندوانه ارقام «Jingxin No. 2» و «Qianding No. 1» در برابر تنش‌های ناشی از کشت مداوم ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اعمال دوپامین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار موجب افزایش ۵۷ درصدی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳) که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است.

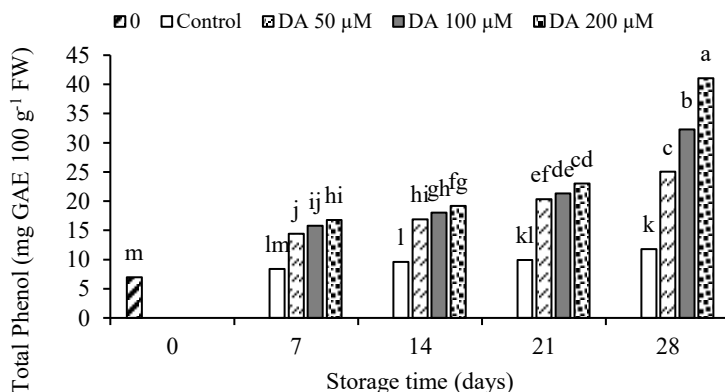
محتوی فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

روز عمر انبارمانی و کمترین مقدار (۶۳/۹۲ درصد) در نمونه‌های زمان صفر انبارمانی گزارش شد (شکل ۵). همانطور که در جدول همبستگی مشاهده می‌شود، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیلیاز، فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین کل داشت (جدول ۴). این نتایج به احتمال زیاد به دلیل نقش ترکیبات فنلی و به‌ویژه آنتوسیانین‌ها در ایجاد ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه باشد. همچنین افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز به دلیل افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه به طور غیرمستقیم باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی شده است. ترکیبات فنلی علاوه بر بهبود کیفیت و ارزش غذایی گیلان، ظرفیت آنتی اکسیدانی آن را به عنوان دهنده الکترون یا پروتون افزایش می‌دهند (مجتبی و همکاران، ۲۰۲۳). به طور کلی، هرچه رنگ گیلان تیره‌تر و اسیدیته آن بیشتر باشد، میزان آنتی اکسیدان‌ها و پلی فنل‌ها نیز بیشتر است (لیو و همکاران، ۲۰۱۱). فلاونوئیدها، به‌ویژه انواع دارای جانشینی‌های دی‌هیدروکسی در حلقه B، ظرفیت قابل توجهی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد داشته و از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی جلوگیری می‌کنند (رائو^۱ و همکاران، ۲۰۲۵). تیمار دوپامین با غلظت ۱۵۰ میکرومولار در کیوی موجب افزایش تجمع فنل و فلاونوئید و مهار رادیکال‌های DPPH شد که این اثر به افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز نسبت داده شد (ا قدم و همکاران،

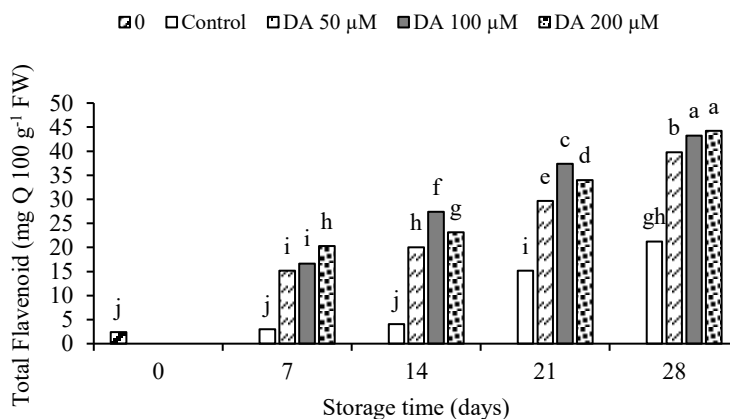
آنتوسیانین کل همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که تجمع این ترکیبات به دلیل افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز و در نتیجه افزایش تولید فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها همراه بوده است. همچنین ممکن است که افزایش سطح فنل‌ها در پاسخ به تیمار دوپامین به عنوان بخشی از مکانیزم دفاعی میوه رخ داده باشد. این نتایج بیانگر آن است که فنل کل می‌تواند یکی از شاخص‌های مهم در ظرفیت دفاعی میوه در شرایط انبارمانی باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری فلاونوئید کل میوه‌ها نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی میزان فلاونوئید کل میوه‌ها نیز افزایش یافت. همچنین تمامی غلظت‌های تیمار دوپامین این روند را به‌طور معنی‌داری تشدید کردند (شکل ۴). فلاونوئید کل نیز، همبستگی مثبت و معنی‌داری با آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز، فنل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و آنتوسیانین کل دارد (جدول ۴). به نظر می‌رسد این همبستگی بیانگر مسیر مشترک بیوسنتزی آن‌ها باشد. همچنین ارتباط مثبت آن با ظرفیت آنتی اکسیدانی کل ممکن است، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر زیرگروه‌های خاصی از فلاونوئیدها (به‌ویژه آنتوسیانین‌ها) بر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل باشد.

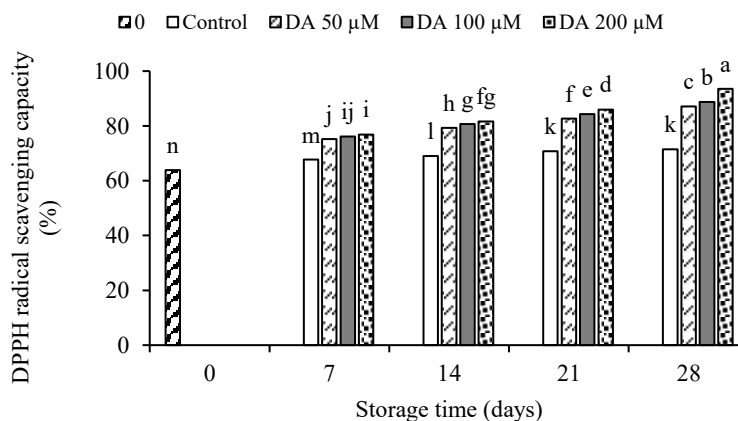
ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه‌ها با افزایش زمان انبارمانی به‌طور جزئی افزایش یافت، بیش‌ترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (۹۳/۵۳ درصد) در تیمار دوپامین ۱۵۰ میکرومولار پس از ۲۸



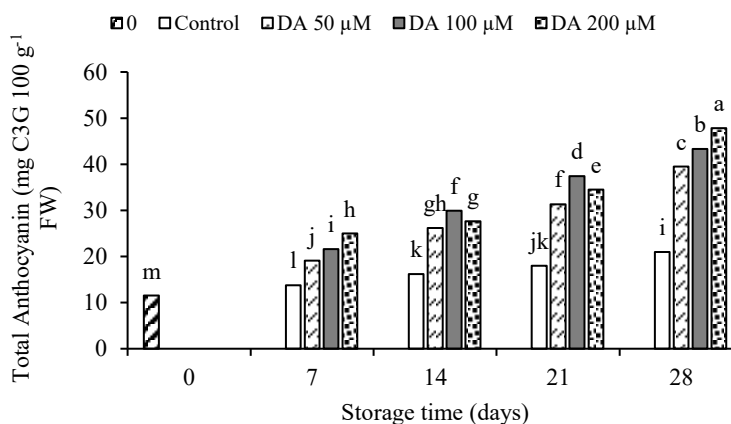
شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر فنل کل گیلان رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر فلاونوئید کل میوه گیلای رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل گیلای رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر تیمار دوپامین بر آنتوسیانین کل گیلای رقم تک‌دانه در طی دوره انبارمانی سرد. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

۲۰۲۵)، این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است.

آنتوسیانین کل

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان آنتوسیانین در میوه‌های گیلاس در طی دوره انبارمانی افزایش یافت و تیمارهای دوپامین به‌طور معنی‌داری این روند را تسریع کردند به‌طوری که در پایان دوره انبارمانی (۲۸)، تیمار دوپامین در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به‌ترتیب موجب افزایش ۸۸، ۱۰۶ و ۱۷۸ درصدی آنتوسیانین کل نسبت به شاهد شدند (شکل ۶). طبق نتایج جدول همبستگی، آنتوسیانین کل همبستگی مثبت و معنی‌داری را با فعالیت آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمونیل‌لیاز، فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نشان داد (جدول ۴). این نتیجه نشان می‌دهد، که آنتوسیانین‌ها نه تنها به‌عنوان رنگدانه‌های اصلی در گیلاس عمل می‌کنند، بلکه نقش کلیدی در تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت پس از برداشت دارند (کلبک و سلی^۱، ۲۰۱۱). آنتوسیانین‌ها با مهار آغاز واکنش زنجیره‌ای رادیکال‌های آزاد، قطع پیوند اکسیداسیون چربی، کنترل انتشار رادیکال‌ها و مهار پراکسیداسیون لیپید، نقش مؤثری در مقابله با تنش اکسیداتیو دارند (خو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). دمای محیط نقش کلیدی در تنظیم سنتز آنتوسیانین در گیاهان دارد (لی و احمد^۳، ۲۰۲۳). به‌نظر می‌رسد که تیمار دوپامین از طریق افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمونیل‌لیاز و تحریک سنتز آنتوسیانین‌ها و سایر ترکیبات ثانویه به بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ کیفیت میوه طی دوره انبارمانی کمک می‌کند. بنابراین، استفاده از دوپامین به‌عنوان یک تیمار طبیعی می‌تواند رویکرد مؤثری برای افزایش عمر انبارمانی و کاهش ضایعات پس از برداشت گیلاس در صنعت سردخانه باشد. علاوه بر این در پژوهشی تیمار قبل از برداشتی دوپامین (۱۰۰ میکرومولار) به صورت محلول‌دهی و محلول‌پاشی برگ‌ها، به‌طور قابل توجهی محتوی آنتوسیانین را در سیب افزایش داد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس نتایج این پژوهش، تیمار دوپامین موجب افزایش معنی‌دار میزان آنتوسیانین و ارتقاء ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گیلاس شده است.

بررسی صفات مربوط به رنگ میوه

شاخص روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*) و شاخص زردی (b^*)

براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول ۵)، در تیمار شاهد، شاخص L^* در طول دوره انبارمانی به‌تدریج کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده تیره‌تر شدن پوست میوه گیلاس و افت کیفیت ظاهری آن بود. در مقابل تیمارهای دوپامین، به‌ویژه در غلظت ۲۰۰ میکرومولار، روند کاهش روشنایی میوه را به‌طور معنی‌داری کند کردند. این یافته حاکی از آن است، که دوپامین نقش مؤثری در حفظ شفافیت، تازگی و ظاهر براق میوه گیلاس طی دوره انبارمانی ایفا کرده است. نتایج مربوط به شاخص قرمزی (a^*) نشان داد که در طول دوره انبارمانی قرمزی پوست گیلاس کاهش یافته و رنگ میوه به سمت تیرگی متمایل شد. در حالی که تیمار دوپامین در تمامی غلظت‌ها، به‌ویژه در سطح ۲۰۰ میکرومولار توانستند، قرمزی مطلوب میوه را بهتر حفظ کرده و از افت کیفیت ظاهری جلوگیری کنند. علاوه بر این، نتایج مربوط به شاخص زردی (b^*) نشان داد که نمونه‌های گیلاس رنگ قرمز خود را از دست داده و به سمت رنگ‌های نامطلوب (قهوه‌ای-زرد) متمایل پیدا کرده است. بیشتر غلظت‌های دوپامین از افزایش شاخص زردی (b^*) در طول دوره انبارمانی جلوگیری کرد. به‌طور کلی، تیمار دوپامین با کندکردن روند تغییرات رنگ، نقش مؤثری در حفظ کیفیت ظاهری و بازاریابی میوه گیلاس در طول دوره انبارمانی ایفا کرد.

خلوص رنگ (C^*)، زاویه هیو (h°) اختلاف رنگ کل (ΔE)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که تیمار شاهد بیشترین اختلاف رنگ (ΔE) را در طول دوره انبارمانی تجربه کرد، در حالی که کاربرد دوپامین به‌ویژه در غلظت ۲۰۰ میکرومولار این تغییرات را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. اختلاف معنی‌دار بین شاهد و تیمارهای دوپامین، به‌ویژه در روزهای پایانی انبارمانی، نشان می‌دهد که دوپامین توانسته سرعت تخریب رنگ‌دانه‌ها را کاهش داده و کیفیت ظاهری میوه گیلاس را بهتر حفظ کند. نتایج مربوط به خلوص رنگ (C^*) نیز نشان داد که استفاده از دوپامین باعث حفظ

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار دوپامین و زمان انبارمانی بر صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه گیلان رقم تک‌دانه در

طی نگهداری در انبار سرد						
زمان انبارمانی	دوپامین μM	L*	a*	b*	C*	h°
ΔE						
روز ۰	۰	۲۶/۳۳ ^b	۱۴ ^a	۱۱ ^a	۱۷/۸۱ ^a	۳۸/۱۳ ^{fg}
روز ۷	۵۰	۲۳/۶۷ ^{bcd}	۴/۶۷ ^{cde}	۴/۳۳ ^{efg}	۶/۳۸ ^{def}	۴۲/۸۹ ^{ef}
روز ۱۴	۱۰۰	۲۱/۶۷ ^{def}	۳/۳۳ ^{def}	۵/۳۳ ^{cde}	۶/۳۳ ^{def}	۵۸/۶۲ ^{bc}
روز ۲۱	۲۰۰	۳۳/۳۳ ^a	۳/۶۷ ^{c-f}	۶/۶۷ ^{bc}	۷/۶۱ ^{cde}	۶۱/۳۲ ^b
روز ۲۸	۵۰	۱۹ ^{fgh}	۱/۳۳ ^g	۵/۳۳ ^{cde}	۵/۵۱ ^{efg}	۷۶/۳۲ ^a
	۱۰۰	۱۹ ^{fgh}	۳ ^{ef}	۴/۶۷ ^{d-g}	۵/۵۷ ^{efg}	۵۷/۹۴ ^{bc}
	۲۰۰	۲۱/۶۷ ^{def}	۴/۳۳ ^{c-f}	۵ ^{def}	۶/۶۲ ^{def}	۴۸/۸۴ ^{de}
	۵۰	۲۵/۶۷ ^b	۱۲/۶۷ ^a	۷/۳۳ ^b	۱۴/۶۴ ^b	۳۰/۱۷ ^g
	۱۰۰	۱۶ ^h	۴ ^{c-f}	۶/۶۷ ^{bc}	۷/۷۹ ^{cd}	۵۹/۳۸ ^b
	۲۰۰	۱۹ ^{fgh}	۳/۳۳ ^{def}	۲/۳۳ ^{hij}	۴/۰۷ ^g	۳۴/۷۵ ^g
	۵۰	۲۲/۶۷ ^{cde}	۳ ^{ef}	۲ ^{ij}	۳/۶۱ ^g	۳۲/۳۸ ^g
	۱۰۰	۲۵/۳۳ ^{bc}	۲/۶۷ ^{fg}	۴/۶۷ ^{d-g}	۵/۳۸ ^{fg}	۵۹/۵۹ ^b
	۲۰۰	۱۸ ^{gh}	۱/۳۳ ^g	۳/۶۷ ^{fgh}	۳/۹۲ ^g	۷۰/۳۳ ^a
	۵۰	۱۹ ^{fgh}	۵/۳۳ ^c	۱ ^j	۵/۴۷ ^{fg}	۹/۹۱ ⁱ
	۱۰۰	۲۰/۶۷ ^{d-g}	۴ ^{c-f}	۶ ^{bcd}	۷/۲۱ ^{def}	۵۶/۶۰ ^{bcd}
	۲۰۰	۲۰ ^{efg}	۹ ^b	۳/۳۳ ^{ghi}	۹/۶۰ ^c	۲۰/۲۶ ^h

شاخص روشنایی (L*)، شاخص قرمزی (a*)، شاخص زردی (b*)، خلوص رنگ (C*)، زاویه هیو (h°)، اختلاف رنگ کل (ΔE)
حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

محتوی آنتوسیانین موجب تیره‌تر شدن رنگ پوست میوه می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، رنگ قرمز گیلان ارتباط مستقیمی با تجمع آنتوسیانین‌ها دارد (شان^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). در طول دوره نگهداری پس از برداشت، کاهش تدریجی شاخص روشنایی (L*) نشان‌دهنده تیره‌تر شدن پوست گیلان است (گونسالوس و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، خلوص رنگ (C*) به عنوان پارامتری معرفی می‌شود که همبستگی معکوس با محتوی آنتوسیانین در گیلان دارد (میراندا^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این در پژوهش وانگ و همکاران، (۲۰۲۱)، تیمار قبل از برداشت دوپامین به صورت محلول‌دهی و محلول‌پاشی در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار منجر به افزایش مقادیر a* و C* سیب شد در حالی که مقادیر L*، b* و h° نسبت به نمونه شاهد کاهش یافتند. از این رو در پژوهش حاضر، طی دوره انبارمانی روند افزایشی محتوی آنتوسیانین (شکل ۶)، کاهش مقادیر روشنایی (L*)، قرمزی (a*) و خلوص رنگ (C*) و در نهایت افزایش تغییرات

شدت و خلوص رنگ پوست گیلان در مقایسه با تیمار شاهد شد، هر چند این تغییرات در برخی زمان‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. با این حال در بعضی از مراحل انبارمانی به ویژه در تیمار ۲۰۰ میکرومولار، اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده شد که بیانگر نقش دوپامین در جلوگیری نسبی از کاهش خلوص رنگ و حفظ جلوه تازه‌تر و جذاب‌تر میوه است. بیشتر غلظت‌های دوپامین از افزایش زاویه هیو (h°) در طول دوره انبارمانی جلوگیری کرده و با کاهش استرس اکسیداتیو در سطح پوست، رنگ قرمز طبیعی گیلان را در دوره انبارمانی حفظ می‌کند. این نتایج نشان‌دهنده نقش مثبت دوپامین در تأخیر تغییر رنگ و حفظ کیفیت ظاهری گیلان طی انبارداری است. ظاهر و رنگ میوه از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت محسوب می‌شود و نقش کلیدی در بازاریابی و پذیرش آن توسط مصرف‌کنندگان ایفا می‌کنند (یانگ^۱ و همکاران ۲۰۲۳). رنگ پوست گیلان عمدتاً تحت تأثیر نوع و میزان آنتوسیانین‌های موجود است. به‌طوری‌که افزایش

3. Miranda

1. Yang
2. Shan

کنترل کند. به گونه‌ای که میوه‌های شاهد پس از ۲۸ روز انبارمانی دچار افت قابل توجهی در شاخص‌های کیفی شدند، در حالی که میوه‌های تیمار شده با دوپامین در این زمان از نظر کیفیت ظاهری و بازاری پسندی قابل عرضه به بازار بودند. این ترکیب با مهار فعالیت آنزیم‌های تخریبی و کنترل تغییرات رنگ، pH، شاخص طعم، ضمن حفظ کیفیت با تحریک تولید ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی، ارزش تغذیه‌ای و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیلاس را افزایش داد. بنابراین، استفاده از دوپامین می‌تواند رویکردی نویدبخش برای افزایش عمر انبارمانی و بهبود کیفیت پس از برداشت میوه گیلاس باشد.

رنگ (ΔE) (جدول ۵) مشاهده شد. با این حال، تیمار دوپامین در غلظت‌های مختلف به‌ویژه غلظت‌های ۲۰۰ میکرومولار با تأثیر مثبت بر شاخص‌های رنگی توانست کیفیت ظاهری گیلاس را طی دوره انبارمانی حفظ کند و روند تیرگی و پیری پوست میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، تیمار دوپامین با کندکردن فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، توانست روند پیری و تغییرات کیفی میوه گیلاس را در دوره پس از برداشت به‌طور مؤثری

منابع

- بی‌ستی، ع. و حسن‌پور، ح. ۱۳۹۵. کاربرد پس از برداشت متیل‌جاسمونات بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیلاس رقم تک‌دانه مشهد. پژوهش‌های میوه‌کاری، ۱(۲): ۵۶-۷۳.
- Aghdam, M.S., Asle-Mohammadi, Z., Ebrahimi, A. and Razavi, F. 2025. Exogenous dopamine application ameliorates chilling injury and preserves quality of kiwifruit during cold storage. *Scientific Reports*, 15(1): 2894.
- Aghdam, M. S., Jannatizadeh, A., Sheikh-Assadi, M. and Malekzadeh, P. 2016. Alleviation of postharvest chilling injury in anthurium cut flowers by salicylic acid treatment. *Scientia Horticulturae*, 202: 70-76.
- Bor, J.Y., Chen, H.Y. and Yen, G.C. 2006. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5): 1680-1686.
- Costa, B.P., Carpiné, D., Ikeda, M., Pazzini, I.A.E., Alves, F.E.D.S.B., de Melo, A.M. and Ribani, R.H. 2023. Bioactive coatings from non-conventional loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging. *Progress in Organic Coatings*, 175: 107320.
- De Freitas, S.T., Pareek, S., De Freitas, S.T. and Pareek, S. 2019. Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables, 824.
- Dehghan, G. and Khoshkam, Z. 2012. Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131(2): 422-426.
- Giusti, M.M. and Wrolstad, R.E. 2001. Anthocyanins. pp. F1.2.1-F1.2.13. In: Wrolstad, E. (ed.), *Characterization and Measurement with UV-visible Spectroscopy*. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Wiley, New York.
- Gonçalves, A.C., Campos, G., Alves, G., Garcia-Viguera, C., Moreno, D.A. and Silva, L.R., 2021. Physical and phytochemical composition of 23 Portuguese sweet cherries as conditioned by variety (or genotype). *Food Chemistry*, 335: 127637.
- Gonçalves, B., Silva, A.P., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E. and Meyer, A.S. 2007. Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 103(3): 976-984.
- Huchzermeyer, B., Menghani, E., Khardia, P. and Shilu, A. 2022. Metabolic pathway of natural antioxidants, antioxidant enzymes and ROS providence. *Antioxidants*, 11(4): 761.
- Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sánchez-Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1): 55-60.
- Ji, Z., Liu, Z., Han, Y., and Sun, Y. 2022. Exogenous dopamine promotes photosynthesis and carbohydrate metabolism of downy mildew-infected cucumber. *Scientia Horticulturae*, 295: 110842.

- Jiang, H., Wang, B., Ma, L., Zheng, X., Gong, D., Xue, H., Bi, Y., Wang, Y., Zhang, Z. and Prusky, D. 2019. Benzo-(1, 2, 3)-thiadiazole-7-carbothioic acid s-methyl ester (BTH) promotes tuber wound healing of potato by elevation of phenylpropanoid metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 153: 125-132.
- Jiao, X., Li, Y., Zhang, X., Liu, C., Liang, W., Li, C., Ma, F. and Li, C. 2019. Exogenous dopamine application promotes alkali tolerance of apple seedlings. *Plants*, 8(12): 580.
- Kaijv, M., Sheng, L. and Chao, C. 2006. Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Food Science*, 27(3): 110-115.
- Kelebek, H. and Selli, S. 2011. Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(12): 2530-2537.
- Kulma, A. and Szopa, J. 2007. Catecholamines are active compounds in plants. *Plant Science*, 172(3): 433-440.
- Li, Z. and Ahammed, G.J. 2023. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. *Plant Stress*, 10: 100230.
- Liu, Y., Liu, X., Zhong, F., Tian, R., Zhang, K., Zhang, X. and Li, T. 2011. Comparative study of phenolic compounds and antioxidant activity in different species of cherries. *Journal of Food Science*, 76(4): C633-C638.
- Liu, Z., Ji, Z., Han, Y. and Sun, Y. 2023. The mitigation effects of exogenous dopamine treatment on continuous cropping obstacles in watermelon. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3): 4233-4249.
- Miranda, S., Vilches, P., Suazo, M., Pavez, L., García, K., Méndez, M.A., González, M., Meisel, L.A., Defilippi, B.G. and Del Pozo, T. 2020. Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage. *Food Chemistry*, 319: 126360.
- Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B.A., Kurubas, M.S., Ustun, H., Erkan, M., Kaya, M., Cicek, M. and Oner, E.T. 2023. Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry. *Food Chemistry*, 416: 135816.
- Naser, F., Rabiei, V., Razavi, F. and Khademi, O. 2018. Effect of calcium lactate in combination with hot water treatment on the nutritional quality of persimmon fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 233: 114-123.
- Nazari, J., Nabigol, A., Rasouli, M. and Aghdam, M.S. 2024. Exogenous dopamine ameliorates chilling injury of banana fruits during cold storage. *Scientific Reports*, 14(1): 25802.
- Nguyen, T.B.T., Ketsa, S. and Van Doorn, W.G. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 30(2): 187-193.
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardi, S., Mastropasqua, L. and De Pinto, M.C. 2019. Vitamin C in plants: from functions to biofortification. *Antioxidants*, 8(11): 519.
- Rao, M.J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., Wei, W., Shen, Q., Ji, P., Yang, Y. and Conteh, O. 2025. Antioxidant defense system in plants: Reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. *Horticulturae*, 11(5): 477.
- Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M. and Yousefi, H. 2015. Effect of γ -irradiation on the physical and mechanical properties of kefir biopolymer film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74: 343-350.
- Shan, C., Luo, Y., Yang, C. and Gao, X. 2023. The effects of poly- γ -glutamic acid on the postharvest physiology and quality of strawberry cv. Hongyan during cold storage. *Foods*, 12: 2944.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3): 144-158.
- Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S. and Luangtana-anan, M. 2017. Utilization of shellac and gelatin composite film for coating to extend the shelf life of banana. *Food Control*, 73: 1310-1317.
- Sun, Y., Singh, Z., Tokala, V.Y. and Heather, B. 2019. Harvest maturity stage and cold storage period influence lemon fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 249: 322-328.

- ValizadehKaji, B. and Fakhri, N. 2023. Postharvest application of Aloe vera gel and thymol enhances shelf-life of duke cherries via altering physiochemical parameters. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1): 85.
- Vignati, E., Lipska, M., Dunwell, J.M., Caccamo, M. and Simkin, A.J. 2022. Fruit development in sweet cherry. *Plants*, 11(12): 1531.
- Wang, Y., Zhang, Z., Wang, X., Yuan, X., Wu, Q., Chen, S., Zou, Y., Ma, F. and Li, C. 2021. Exogenous dopamine improves apple fruit quality via increasing flavonoids and soluble sugar contents. *Scientia Horticulturae*, 280: 109903.
- Xu, Z., Mahmood, K. and Rothstein, S.J. 2017. ROS induces anthocyanin production via late biosynthetic genes and anthocyanin deficiency confers the hypersensitivity to ROS-generating stresses in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 58(8): 1364-1377.
- Yang, W., Zhang, Z., Chen, Y. and Luo, K. 2023. Evaluation of the use of *Idesia polycarpa* Maxim protein coating to extend the shelf life of European sweet cherries. *Frontiers in Nutrition*, 10: 1283086.
- Zhang, Z.J., Zhang, J., Tang, Z.W., Wang, Y.P., Gao, T.T., Liu, X.M. and Chao, L.I. 2022. Tissue distribution and changes in dopamine during development and stress responses in *Malus* germplasm. *Journal of Integrative Agriculture*, 21: 710-724.
- Zhao, H., Liu, B., Zhang, W., Cao, J. and Jiang, W. 2019. Enhancement of quality and antioxidant metabolism of sweet cherry fruit by near-freezing temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147: 113-122.
- Zucker, M. 1968. Sequential induction of phenylalanine ammonia-lyase and a lyase-inactivating system in potato tuber disks. *Plant Physiology*, 43(3): 365-374.